

Optimal Location Model of Bus Terminals and Evaluation of Factors Affecting It

Morteza Shafiee^{*1}, Hilda Saleh², Aseyeh Sadat Hatami¹

¹ Department of Industrial Management, Economics and Management Faculty, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

² Department of Mathematics, Faculty of Science, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Citation:



Shafiee, M., Saleh, M. & Hatami, A. S. (2020). Optimal location model of bus terminals and evaluation of factors affecting it. *Innovation management and operational strategies*, 1(3), 239-251.

Received: 18/06/2020	Reviewed: 12/08/2020	Revised: 01/09/2020	Accept: 05/10/2020
----------------------	----------------------	---------------------	--------------------

Abstract

Purpose: Terminals are major urban passenger centers that play an important role in collecting demand and distributing it on the network. The proper functioning of terminals depends on their proper planning, an important part of which is devoted to their principled location. The issue of locating intra-city bus terminals should be considered as optimization issues.

Methodology: The mentioned method is based on four consecutive stages, according to which, in the first and second stages, the candidate points for the construction of intercity bus terminals are selected according to the network of bus lines and the location of the lanes, as well as according to the existing terminals. In the third stage, the cost of construction and acquisition, the value of access to adjacent uses, as well as the amount of coverage that each candidate points provide in the city, are evaluated. Finally, in the fourth stage, the problem is transformed from a multi-objective mode to a single-objective maximization problem using the ideal planning method, as a result of which the top points are identified among the candidate points. In order to better understand the proposed method, the problem of locating terminals was implemented in the city of Shiraz, which finally selected the proposed 3-point algorithm as the final points for the construction of intercity bus terminals.

Findings: Examination of the results of the model and parameters of selected points shows that these points are among the important and effective points for the construction of the terminal and are relatively in good agreement with the policy of Shiraz Municipality Bus Organization in locating the terminals.

Originality/Value: In this paper, an innovative method is used to solve the problem of locating terminals, which strengthens the existing knowledge.

Keywords: Location modeling, Bus terminals, Goal programming.

JEL Classification: C60, C61.

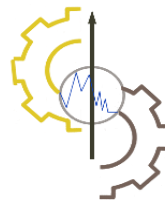
* Corresponding Author

Email Address: ma.shafiee277@gmail.com



<http://dx.doi.org/10.22105/imos.2021.272394.1033>

<https://doi.org/10.22105/imos.2021.272394.1033>



مدل مکان‌یابی بهینه‌ی استقرار پایانه‌های اتوبوس‌رانی و میزان ارزیابی عوامل مؤثر بر آن

مرتضی شفیعی^{*}، هیلدا صالح^۱، آسیه سادات حاتمی^۱

^۱گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

^۲گروه ریاضی، دانشکده علوم پایه، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۹	بررسی: ۱۳۹۹/۰۵/۲۲	اصلاح: ۱۳۹۹/۰۶/۱۱	پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۱۴
--------------------	-------------------	-------------------	-------------------

چکیده

هدف: پایانه‌ها، مراکز عمده مسافربری شهری هستند که نقش مهم جمع‌آوری تقاضا و پخش آن را در شبکه بر عهده دارند. عملکرد صحیح پایانه‌ها درگرو برنامه‌ریزی درست آن‌ها است که بخش مهمی از آن به مکان‌یابی اصولی آن‌ها اختصاص می‌یابد. مسئله مکان‌یابی پایانه‌های اتوبوس‌رانی درون‌شهری ازجمله مسائل بهینه‌سازی محسوب شود.

روش‌شناسی پژوهش: روش مذکور مبتنی بر چهار مرحله متوالی است که بر اساس آن، در مرحله اول و دوم نقاط کاندید احداث پایانه اتوبوس‌رانی درون‌شهری با توجه به شبکه خطوط اتوبوس‌رانی و محل تمرکز خطوط و همچنین با توجه به پایانه‌های موجود انتخاب می‌شوند. در مرحله سوم هزینه ساخت و تملک، ارزش دسترسی به کاربری‌های مجاور و همین‌طور میزان پوششی که هر یک از نقاط کاندید در سطح شهر ایجاد می‌کنند، نقاط کاندید ارزش‌گذاری می‌شوند. درنهایت، در مرحله چهارم، مسئله به کمک روش برنامه‌ریزی آرمانی از حالت چند هدفه به یک مسئله تک هدفه بیشینه‌سازی تبدیل می‌شود که درنتیجه آن نقاط برتر از بین نقاط کاندید شناسایی می‌شوند. به‌منظور درک بهتر روش پیشنهادی، مسئله مکان‌یابی پایانه‌ها در مورد شهر شیراز پیاده‌سازی گردید که درنهایت الگوریتم پیشنهادی ۳ نقطه را به‌عنوان نقاط نهایی جهت ساخت پایانه اتوبوس‌رانی درون‌شهری برگزید.

یافته‌ها: بررسی نتایج حاصل از مدل و پارامترهای نقاط برگزیده نشان می‌دهد که این نقاط، ازجمله نقاط مهم و تأثیرگذار جهت ساخت پایانه هستند و با خط‌مشی سازمان اتوبوس‌رانی شهرداری شیراز در جهت مکان‌یابی پایانه‌ها نیز همخوانی نسبت خوبی دارد.

اصالت/ارزش‌افزوده علمی: در این مقاله از روشی ابتکاری جهت حل مسئله مکان‌یابی پایانه‌ها استفاده شده است که موجب تقویت دانش موجود می‌شود.

کلیدواژه‌ها: مدل مکان‌یابی، پایانه‌های اتوبوس‌رانی، برنامه‌ریزی آرمانی.

طبقه‌بندی JEL: C60، C61.

* نویسنده مسئول

آدرس رایانامه: ma.shafiee277@gmail.com

رشد جمعیت و توسعه شهرها، نیاز به جابجایی را در شهرها ایجاد می‌نماید؛ در نتیجه این افزایش تقاضا و کمبود تسهیلات، می‌بایست کارایی سیستم حمل‌ونقل افزایش یابد. سیستم حمل‌ونقل از یک دیدگاه، به دو بخش تقسیم می‌گردد: عمومی و خصوصی. برای بالا بردن کارایی سیستم حمل‌ونقل، می‌بایست سیستم حمل‌ونقل همگانی را بهبود بخشد. برخی از مشکلاتی که باعث پایین آمدن سطح خدمت سیستم حمل‌ونقل همگانی و در نتیجه، کاهش تقاضا می‌گردند، عبارت‌اند از:

عدم دسترسی مناسب، عدم وجود ظرفیت کافی متناسب با تقاضای موجود، زمان انتظار، سرفاصله نامنظم، کمبود امکانات و تسهیلات، برنامه‌ریزی نامناسب برای تخصیص منابع و زمان‌بندی و مدیریت نادرست.

یک طراحی صحیح و مناسب سیستم حمل‌ونقل همگانی می‌تواند سبب افزایش سطح خدمات و کاهش مشکلات مطرح‌شده گردد. اصولاً طراحی سیستم حمل‌ونقل همگانی دارای دو بخش است:

۱. تعیین ساختار شبکه (تعیین نقاط ابتدایی و انتهایی و نیز مسیریابی)

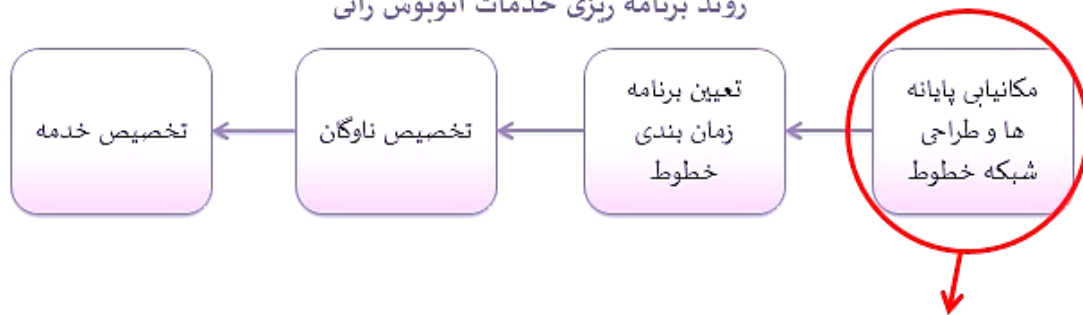
۲. تعیین برنامه عملکرد (تخصیص ناوگان به مسیر و زمان‌بندی و برنامه حرکت)

در مورد سفرهای شهری، مسیرها بر اساس کوتاه‌ترین زمان و کمترین هزینه سفر انتخاب می‌شوند. تعیین نقاط ابتدا و انتها، اهمیت بیشتری می‌یابد. در این تحقیق سعی شده است تا انواع روش‌های مکان‌یابی پایانه‌های شهری مطرح و مورد بررسی قرار گیرد.

امروزه از حمل‌ونقل همگانی به عنوان مهم‌ترین و مؤثرترین گزینه در راستای دست‌یابی به حمل‌ونقل پایدار شهری نام‌برده می‌شود که مزایای فراوانی را به دنبال دارد؛ در رأس آن‌ها، می‌توان به برداشتن گامی روبه‌جلو در راستای تحقق عدالت اجتماعی، اشاره کرد. از سویی دیگر، تحقق همگی این اهداف، در گرو برنامه‌ریزی سیستم حمل‌ونقل همگانی و به‌ویژه، سیستم اتوبوس‌رانی (به عنوان یکی از مهم‌ترین و کارآمدترین شیوه‌های حمل‌ونقل همگانی) است. مراحل برنامه‌ریزی در حمل‌ونقل همگانی مطابق شکل ۱ در نظر گرفته می‌شود.

یکی از مقولات مهم در برنامه‌ریزی شهری، تعیین مکان مناسب برای کاربری‌های شهری است. پایانه‌های مسافربری درون‌شهری از جمله این کاربری‌ها است که به دلیل افزایش حجم تردد و جمعیت در شهرها و همچنین، شرایط سنتی حاکم بر مکان‌یابی آن‌ها، همراه با مشکلاتی بوده است و نمی‌تواند انتظارات موردنظر را به‌طور مناسبی پاسخگو باشد؛ لذا ضرورت ارائه یک روش هدفمند در جهت مکان‌یابی این تسهیلات حمل‌ونقلی، انکارناپذیر است.

جایگاه مسئله مکان‌یابی پایانه‌های اتوبوس‌رانی درون‌شهری در روند برنامه‌ریزی خدمات اتوبوس‌رانی، همان گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، در ابتدای این روند قرار دارد و با مشخص شدن آن، طراحی شبکه خطوط و تعیین محل ایستگاه‌ها کلید خواهد خورد.



جایگاه مساله مکان یابی پایانه های اتوبوس در روند برنامه ریزی خدمات اتوبوس رانی

شکل ۱- روند برنامه ریزی در خدمات اتوبوس رانی و جایگاه مسئله مکان یابی پایانه های اتوبوس در این روند.

Figure 1- The process of planning in bus services and the position of the problem of locating bus terminals in this process.

هدف از این پژوهش، این است که با تجزیه و تحلیل اطلاعات حاصل از تحقیقات میدانی و کتابخانه ای، به این پرسش اساسی پاسخ داده شود که اگر بخواهیم در شرایطی که سیستم اتوبوس رانی وجود دارد، تعدادی پایانه به این سیستم اضافه گردد، چه مکان هایی برای این منظور پیشنهاد می شود؟

ساختار این مقاله به این شکل است که پس از ارائه مقدمه، مطالعات مرتبط با این موضوع به صورت خلاصه بررسی می شود. در بخش سوم، متدولوژی حل مسئله مکان یابی ارائه می گردد و در بخش چهارم، این متدولوژی به روی سیستم اتوبوس رانی شهر شیراز، به عنوان یک نمونه موردی، پیاده سازی می شود. در بخش آخر، جمع بندی و نتیجه گیری های مربوطه آورده خواهد شد.

۲- تعریف پایانه

بر اساس تعریف ارائه شده از سیستم اتوبوس رانی شهری، پایانه های اتوبوس رانی در بخش تسهیلات سوار و پیاده شدن مسافران این سیستم، طبقه بندی می شوند. پایانه ها، مراکز عمده مسافربری شهری هستند که نقش مهم جمع آوری تقاضا و پخش آن را در شبکه بر عهده دارند. از این رو، مراکز ثقل (از نظر تراکم مسافران) شبکه حمل و نقل شهری، به طور عام، به پایانه ها و به طور خاص، به شبکه خطوط اتوبوس رانی، اطلاق می شود که طبیعتاً با توجه به نقش اصلی آن ها، با خطوط و تسهیلات^۱ مختلف حمل و نقلی در ارتباط هستند.

ارتباط با خطوط و تسهیلات مختلف حمل و نقلی، این امکان ارزشمند را به مسافران می دهد که بتوانند بین خطوط مختلف جابجا شوند و یا شیوه حمل و نقلی خود را تغییر دهند؛ به عنوان مثال، مسافران از طریق یک خط اتوبوس محلی در درون یک شهرک اقماری به ابتدای یک بزرگراه منتهی به محدوده مرکزی شهر، منتقل می شوند و در آنجا، پایانه این فرصت را ایجاد می کند که آن ها به کمک یک خط سریع السیر اتوبوس و یا یک خط مترو، به مرکز شهر سفر کنند.

در اولین نگاه، پایانه ها درجایی اولویت ساخت دارند که محل تبادل سفر و همچنین مراکز عمده تولید و جذب سفر باشند. با این حال، محدودیت های دیگری، دامنه انتخاب را محدودتر می نمایند. از جمله این عوامل می توان به موارد زیر اشاره کرد:

^۱ Facility



– نوع کاربری: از دیدگاه شهرسازی، بافت‌های شهری بایستی از تناسب و سازگاری نوع کاربری‌ها برخوردار باشند. از این رو، استقرار پایانه در مجاورت مراکز جاذب سفر مانند مجتمع‌های بزرگ تجاری، رفاهی، ورزشی و اداری، از اهمیت بالایی برخوردار است. در عین حال، ساخت یک پایانه در مجاورت یک منطقه مسکونی نمی‌تواند گزینه مناسبی باشد و احتمالاً نارضایتی شهروندان را در نتیجه آلودگی صوتی و زیست‌محیطی به همراه خواهد داشت.

– وضعیت ترافیک منطقه: پایانه‌ها محل تردد مکرر اتوبوس‌ها و مینی‌بوس‌ها هستند؛ وسایلی که به سبب ابعاد به مراتب بزرگ‌تر نسبت به خودروهای سواری، نقش مهمی در ترافیک نواحی مجاور پایانه خواهند داشت (وضعیت پایانه نمازی در شهر شیراز می‌تواند مثال خوبی از همین مسئله باشد). از این رو، مناطقی که خود دارای مشکلات ترافیکی هستند، مطمئناً نمی‌توانند گزینه‌های مناسبی جهت ساخت پایانه باشند.

– دسترسی به سایر شیوه‌های حمل‌ونقلی: از آنجا که پایانه‌ها محل تبادل سفر هستند و از دید شهروندان، جابجایی آسان و روان در سطح شهر، ملاک است و نه لزوماً سفر با یک شیوه حمل‌ونقلی خاص؛ بنابراین مکان‌هایی که به سایر شیوه‌های مهم و عمده حمل‌ونقلی دسترسی دارند، گزینه‌های مناسبی جهت تأسیس پایانه هستند. به عنوان مثال، مجاور یک ایستگاه مترو، ایستگاه قطار بین شهری، فرودگاه و اسکله، پتانسیل بالایی به عنوان یک مکان مناسب جهت ساخت یک پایانه محسوب می‌شود.

– امکانات شهری: پایانه‌ها محل مراجعه روزانه حجم زیادی از شهروندان هستند؛ لذا این اماکن بایستی از حداقل امکانات شهری مانند برق و آب برخوردار باشند. بر این اساس، تأسیس یک پایانه در محلی که فاقد امکانات فوق باشد، عیب و نقص بزرگی محسوب می‌شود.

– وضعیت توپوگرافی: شیب زمین، نوع خاک، سطح آب زیرزمینی و مواردی از این دست نیز در مکان‌یابی پایانه‌ها مهم هستند.

۳- مطالعات پیشین

در حالت کلی، مسئله مکان‌یابی تسهیلات، نوعی مسئله بهینه‌سازی است که هدف آن، انتخاب زیرمجموعه‌ای از یک مجموعه محل‌های کاندید، برای قرار دادن تسهیلات است؛ به گونه‌ای که بیشترین خدمات‌دهی یا کمترین هزینه را فراهم سازد. روش‌های حل مسئله مکان‌یابی پایانه‌های اتوبوس را می‌توان مطابق **شکل ۲** به دو دسته کلی تقسیم نمود که هر یک از آن‌ها، خود دارای زیرمجموعه‌هایی هستند.

۳-۱- مطالعات داخلی

– آشتیانی و حجازی^۱ (۲۰۰۱): «کاربرد روش گرم و سرد کردن شبیه‌سازی شده در حل مسئله مکان‌یابی پایانه‌های شبکه‌ی اتوبوس‌رانی» – مسئله: مکان‌یابی پایانه و طراحی شبکه خطوط.

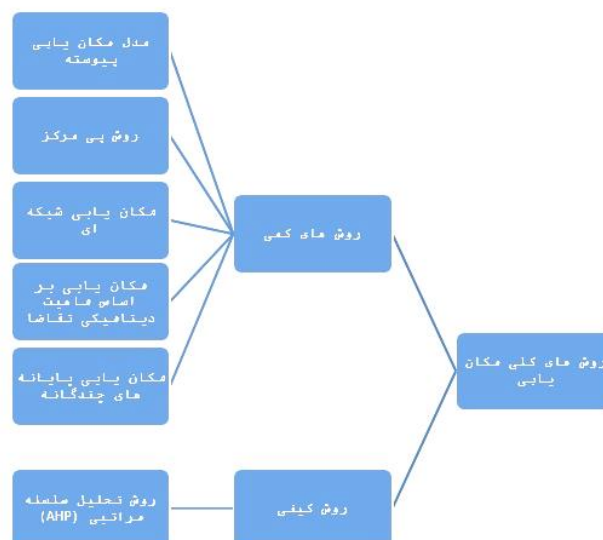
– سید حسینی و همکاران^۲ (۲۰۰۹): «حل مسئله مکان‌یابی پایانه‌های شبکه‌ی اتوبوس‌رانی درون‌شهری با استفاده از الگوریتم ژنتیک» – مسئله: مکان‌یابی پایانه.

– افندی زاده، معروف و کلانتری^۳ (۲۰۱۱): «ارائه الگوریتم فرا ابتکاری ترکیبی برای حل مدل بهینه‌سازی هم‌زمان طراحی شبکه اتوبوس‌رانی و مکان‌یابی پایانه» – مسئله: مکان‌یابی پایانه و طراحی شبکه خطوط.

¹ Aashtiani and Hejazi

² Seyed-Hosseini et al.

³ Afandi Zade, Marouf and Kalantari



شکل ۲- طبقه بندی روش های حل مسئله مکان یابی پایانه های اتوبوس.

Figure 2- Classification of problem-solving methods for locating bus terminals.

۳-۲- مطالعات خارجی

- ریک و زیمرمن^۱ (۲۰۰۹): «مدل حمل و نقل چند به چند تبادل سفر با مدل های مختلف وسیله و رفت و برگشت ها» - مسئله: مکان یابی پایانه و طراحی شبکه خطوط.
- گلاره و همکاران^۲ (۲۰۱۲): «مشکلات مکان یابی در شبکه ی حمل و نقل عمومی» - مسئله: بررسی ۴ روش برای طراحی حل مشکلات چرخه ی مکان یابی در حمل و نقل شهری و شبکه ی خرید خطی.
- لاپورته و همکاران^۳ (۲۰۱۱): «مکان یابی ایستگاه های تکراری در خطوط حمل و نقل» - مسئله: زمانی که یک مسیر جدید یا قسمتی از خط، به صورت تکراری در سیستم طراحی شود، چه مشکلی در رابطه با پایانه ها وجود می آید؟
- بیسکوف و همکاران^۴ (۲۰۰۹): روش های جستجوی تخصیص برای یک کلاس کلی از مشکلات تخصیص مکان.

۴- بیان متدولوژی مسئله

قبل از تشریح الگوریتم پیشنهادی جهت حل مسئله مکان یابی پایانه های اتوبوس رانی درون شهری، به چگونگی مدل سازی شبکه پرداخته می شود.

۴-۱- مدل کردن شبکه

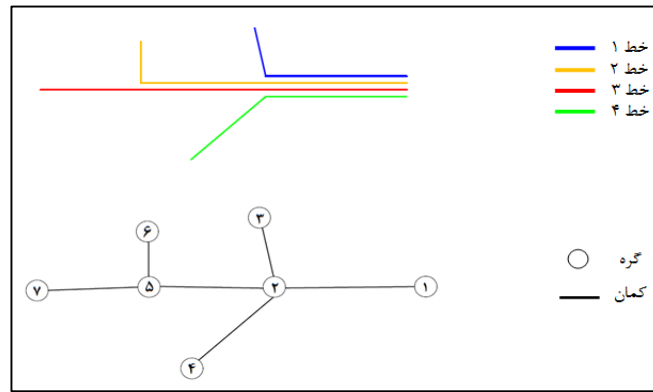
مدل سازی شبکه خطوط اتوبوس رانی: برای این مدل سازی از دو مفهوم گره و کمان استفاده شده است. گره ها، محل هایی خواهند بود که در آن ها خطوط اتوبوس رانی شروع می شوند، تغییر مسیر می دهند و یا خاتمه می یابند. پاره خطی که دو گره متوالی را به یکدیگر متصل می کند، کمان نامیده می شود (شکل ۳).

¹ Rieck and Zimmermann

² Gelareh et al.

³ Laporte et al.

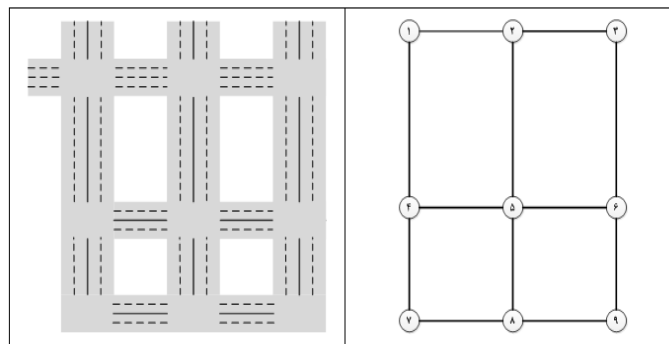
⁴ Bischoff et al.



شکل ۳- نحوه مدل سازی شبکه خطوط اتوبوس.

Figure 3- How to model bus network.

مدل سازی شبکه معابر شهری: از آنجاکه شبکه خطوط اتوبوس رانی، کاربری های شهری و به تبع آن، پایانه های اتوبوس رانی همگی در ارتباط با شبکه معابر هستند، لذا مدل سازی شبکه معابر نیز اجتناب ناپذیر خواهد بود. برای مدل سازی شبکه معابر نیز از دو مفهوم گره و کمان استفاده می شود. بدین ترتیب تقاطع هر دو معبر به عنوان گره و پاره خط متصل کننده هر دو گره، به عنوان کمان شناخته می شود.

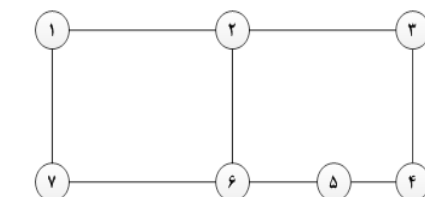
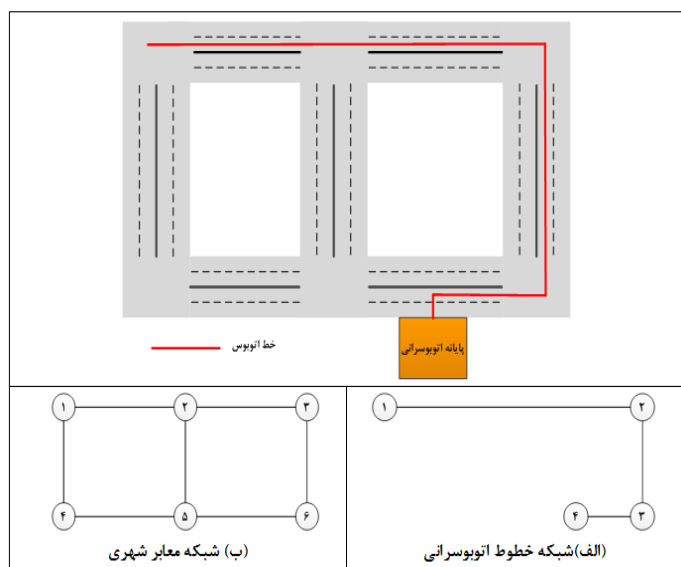


شکل ۴- نحوه مدل سازی شبکه معابر شهری.

Figure 4- How to model urban road network.

مدل سازی توأمان شبکه معابر شهری و شبکه خطوط اتوبوس رانی: شیوه هایی که تاکنون در مورد مدل سازی شبکه معابر شهری و شبکه خطوط اتوبوس رانی ارائه گردید، قابل انطباق بر روی هم نیستند. استفاده از مفهوم گره و کمان در مورد شبکه خطوط اتوبوس رانی و شبکه معابر شهری به یک صورت نخواهد بود و همین عامل، سبب تفاوت شکل شبکه های مدل شده خواهد بود؛ بنابراین جهت حل این مشکل، از شبکه ای استفاده خواهد شد که تمامی گره های هر دو شبکه را شامل گردد.

شبکه مدل سازی شده به کمک مفهوم ماتریس، معرفی می شود و می توان از این طریق، شبکه را به رایانه و محیط های برنامه نویسی شناساند.



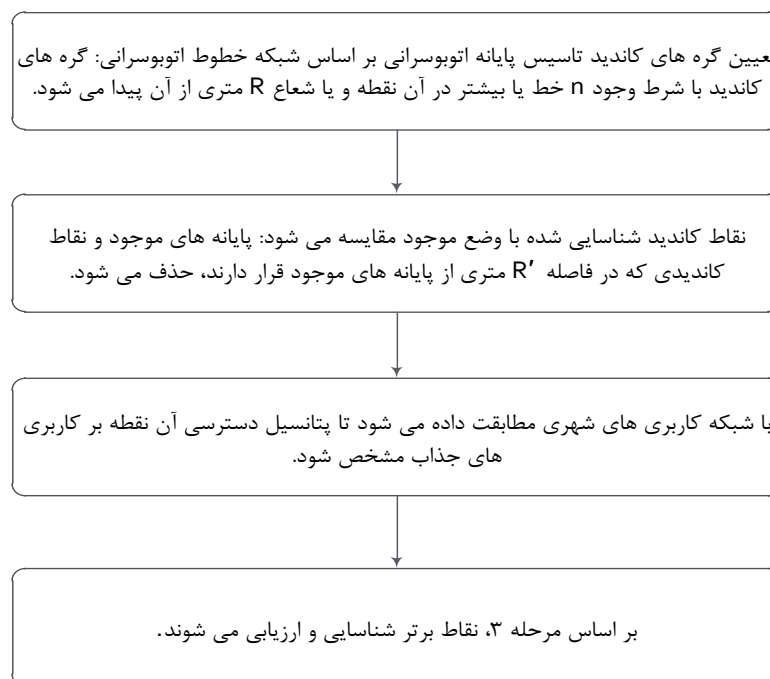
مدل سازی همزمان خطوط اتوبوسرانی و شبکه معابر شهری

شکل ۵- نحوه مدل سازی توأمان شبکه معابر شهری و شبکه خطوط اتوبوسرانی.

Figure 5- How to model both urban road network and bus line network.

۴-۲- تعریف مسئله مکان یابی پایانه ها

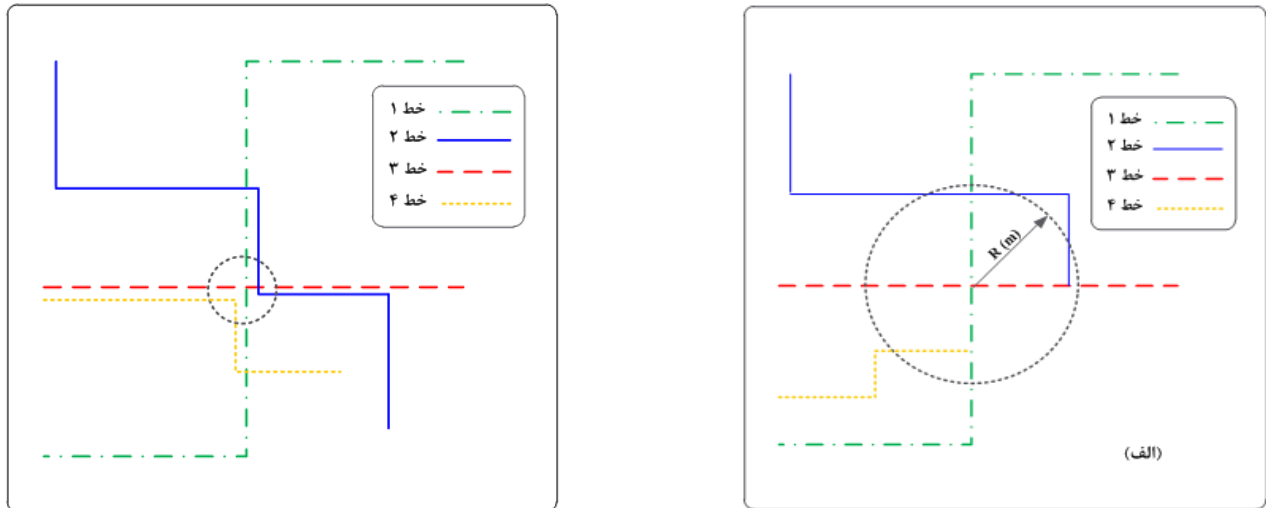
فرض بر آن است که شهری دارای یک سیستم اتوبوسرانی باشد؛ اما این سیستم به دلیل کمبود پایانه های اتوبوسرانی مورد نیاز، عملکرد صحیحی در سیستم حمل و نقل شهری ندارد. از این رو، به عنوان یک راه حل، ساخت پایانه های جدید در دستور کار قرار می گیرد. حال سؤال آن است که در کجا می توان این پایانه ها را ساخت؟ الگوریتم پیشنهادی برای پاسخ به این سؤال در شکل ۶ نمایش داده شده است.



شکل ۶- الگوریتم پیشنهادی جهت حل مسئله مکان یابی پایانه های اتوبوسرانی شهری.

Figure 6- Proposed algorithm to solve the problem of locating urban bus terminals.

نقاط یا زمین‌های بسیار زیادی به‌منظور ساخت پایانه در سطح یک شهر وجود دارد. اولین گام الگوریتم پیشنهادی آن است که از بین این نقاط، نقاط با پتانسیل بالاتر انتخاب شود تا در مراحل بعد، از بین آن‌ها، نقاط برتر شناسایی گردند. این روش، فضای جستجو را محدودتر می‌کند و لذا سرعت رسیدن به جواب را افزایش می‌دهد. بر اساس این مرحله، نقاطی به‌عنوان نقاط کاندید شناخته می‌شوند که از آن‌ها، n خط اتوبوس عبور کند و یا فاصله عبور این خطوط از نقاط مذکور برابر با R باشد.



شکل ۷- عوامل موردنظر در شناسایی نقاط کاندید.
Figure 7- Factors in identifying candidate points.

۴-۳- حذف پایانه‌های موجود از نقاط کاندید

با شروطی که برای تعیین نقاط کاندید جهت ساخت پایانه‌های اتوبوس‌رانی شهری گذاشته شد، مسلماً پایانه‌های موجود نیز در بین این نقاط قرار خواهند گرفت. از این‌رو، ضرورت دارد تا پایانه‌های موجود، از بین نقاط کاندید حذف شوند. علاوه بر این، تأسیس یک پایانه جدید به فاصله نزدیکی از یک پایانه موجود نمی‌تواند معقول و قابل قبول باشد؛ بنابراین علاوه بر پایانه‌های موجود، نقاط کاندیدی که به فاصله R' از پایانه‌های موجود قرار دارند نیز حذف خواهند شد.

۴-۴- مطابقت با کاربری‌های شهری و تعیین توابع ارزیابی

ممکن است برخی از نقاط موجود در مجموعه نقاط کاندید شناسایی شده، امکان تملک جهت ساخت پایانه را نداشته باشند، از امکانات لازم برخوردار نباشند یا کاربری‌های اطراف آن به‌گونه‌ای باشند که اجازه تأسیس پایانه را ندهند؛ بنابراین لازم است در این مرحله، موارد مذکور کنترل شود. بر این اساس، بایستی کاربری‌های شهری نیز به‌گونه‌ای مدل‌سازی شوند که با شبکه‌های معابر و خطوط اتوبوس‌رانی مدل شده مطابقت داشته باشد. برای این منظور، نیاز به یک فرض اساسی است:

فرض می‌شود که پایانه‌ها حتماً در زمین‌هایی که دقیقه در کنار معابر اصلی قرار گرفته‌اند، ساخته شوند.

بر اساس فرض اساسی مسئله، می‌توان به هر یک از گره‌های شبکه با توجه به کاربری قرارگرفته در اطراف آن، یک تابع هزینه اختصاص داد.

$$C_c = C_{c1} + C_{c2}$$

C_1 : هزینه تملک زمین

C_2 : هزینه ساخت پایانه

(۱)

هزینه دیگری که بایستی در این زمینه در نظر گرفته شود، هزینه مجاورت با کاربری‌های مختلف شهری است که با C_a نمایش داده می‌شود. برای لحاظ کردن این هزینه، بایستی کاربری‌ها را تقسیم‌بندی نمود و به هرکدام از آن‌ها، هزینه‌ای را اختصاص داد. شایان ذکر است که این هزینه‌ها، نسبی هستند. هزینه C_a هم در مورد کاربری‌هایی که در کنار گره کاندید قرار دارند، لحاظ می‌شود و هم در مورد کاربری‌هایی که در فاصله R'' متری از آن قرار دارند.

جدول ۱- طبقه‌بندی کاربری‌های شهری به منظور لحاظ کردن هزینه مجاورت با کاربری‌های مختلف.

Table 1- Classification of urban uses in order to take into account the cost of proximity to different uses.

وضعیت کاربری	نوع کاربری
غیر مجاز	نظامی و امنیتی
مشروط	مسکونی
مجاز	تجاری، اداری، فرهنگی، تفریحی، حمل و نقلی

علاوه بر تابع هزینه، تابع دیگری بایستی تعریف شود تا بتواند نقاط کاندید را از نظر میزان توزیع مسافر در نقاط مختلف شبکه، ارزیابی نماید؛ این مسئله، بیان‌گر میزان دسترسی ایجادشده توسط پایانه می‌باشد. برای اندازه‌گیری این پارامتر، منطقه یا شهر مورد مطالعه، به نواحی کوچک‌تری تقسیم می‌شود. با درصدهایی از نواحی که خطوط موجود در هر پایانه به آن‌ها خدمات می‌دهند، می‌توان میزان دسترسی یا سطح پوشش آن پایانه را تعیین نمود.

$$A = \frac{a_c}{a_T}$$

A_i : میزان دسترسی یا مناطق تحت پوشش یک پایانه i (بر حسب درصد)

(۲)

a_{ci} : تعداد مناطق تحت پوشش پایانه i

a_T : تعداد کل نواحی مورد مطالعه

نقاطی به عنوان نقاط نهایی در مسئله مکان‌یابی پایانه‌های اتوبوس‌رانی درون شهری در نظر گرفته می‌شوند که کمترین هزینه و بیشترین دسترسی را داشته باشند. بر این اساس، مسئله، تبدیل به یک مسئله بهینه‌سازی چندین هدفه می‌شود. یکی از روش‌های سودمندی که برای حل این گونه مسائل پیشنهاد می‌شود، روش برنامه‌ریزی آرمانی است.

$$\text{Max } f = e \frac{(a_1 - C_c)}{((C_c)_{\max} - (C_c)_{\min})} + f \frac{(a_2 - C_a)}{((C_a)_{\max} - (C_a)_{\min})} + g(A - b)$$

$$(a_1 - C_c) \geq 0$$

$$(a_2 - C_a) \geq 0 \quad (3)$$

$$(A - b) \geq 0$$

a_1 و a_2 : حداقل مقدار در نظر گرفته شده برای تابع هزینه

b : حداکثر مقدار در نظر گرفته شده برای تابع دسترسی

e و f و g : ضرایب ثابت

$(C_c)_{\max}$ و $(C_a)_{\max}$: حداکثر مقادیر مربوط به هزینه‌های ساخت و تملک و مجاورت در بین نقاط کاندید

$(C_c)_{\min}$ و $(C_a)_{\min}$: حداقل مقادیر مربوط به هزینه‌های ساخت و تملک و مجاورت در بین نقاط کاندید

بر اساس تابع هدف مسئله، نقطه یا نقاطی که بیشترین مقدار تابع f را داشته باشند، به عنوان نقطه یا نقاط نهایی جهت احداث پایانه اتوبوس‌رانی درون شهری شناخته می‌شوند. قابل ذکر است، در عمل، ممکن است تصمیم‌گیران به دنبال نقاط بیشتری باشند؛ بنابراین با پیدا شدن نقاط بهینه (از لحاظ داشتن بیشترین مقدار تابع f)، سایر نقاط را با شرطی که رابطه زیر تعیین می‌کند، می‌توان مشخص نمود:

$$\frac{(f_{max} - f)}{D} \geq k$$

f_{max} : بیشترین مقدار تابع f که بیانگر بهترین نقطه یا نقاط جهت تاسیس پایانه اتوبوسرانی درون شهری است.

f : مقدار تابع f در مورد سایر نقاط کاندید تاسیس پایانه اتوبوسرانی درون شهری

H : حداکثر اختلاف قابل قبول بین بهترین نقطه یا نقاط و سایر نقاط کاندید

D : فاصله بین بهترین نقطه یا نقاط و سایر نقاط کاندید (بر حسب متر)

K : حداقل فاصله قابل قبول بین پایانه‌های جدید الاحداث (بر حسب متر)

(۴)

۵- مطالعه موردی

به منظور ارزیابی مدل ارائه شده، مدل مذکور بر روی شبکه معابر شهر شیراز پیاده سازی می شود. بر این اساس، در ابتدا برخی از پارامترها و ضرایب موجود در تابع هدف، پس از برداشت میدانی، مصاحبه با کارشناسان سازمان اتوبوسرانی به صورت فرضی در نظر گرفته شد (جدول ۲).

جدول ۲- فرضیات مورداستفاده جهت پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی بر روی شبکه معابر شهر شیراز.

Table 2- Hypotheses used to implement the proposed algorithm on the road network of Shiraz.

حداقل تعداد خطوطی که بایستی از یک گره عبور نمایند تا آن گره به عنوان نقطه کاندید جهت ساخت پایانه اتوبوسرانی انتخاب شود، برابر با ۳ می باشد.
فاصله خطوط عبوری از یک گره در فرآیند انتخاب نقاط کاندید (فاصله R)، برابر با ۴۰۰ متر است که همان میانگین فواصل ایستگاه های اتوبوس شهر شیراز می باشد.
حداقل فاصله بین پایانه ها (k و R') برابر با ۲۰۰۰ متر می باشد.
به منظور ناحیه بندی شهر، جهت اعمال وضعیت کاربری های شهری، هر یک از مناطق ۱۰ گانه شهرداری شیراز، به ۴ منطقه تقسیم گردید و در نتیجه ۴۰ ناحیه تشکیل شد.
جهت تعیین تابع هزینه، فرض شد مساحت مورد نیاز پایانه ها برابر با ۲۰۰۰ مترمربع است و قیمت هر مترمربع زمین در مناطق ۱۰ گانه شهرداری، مطابق اعلام صورت گرفته از مشاورین املاک موجود در سطح این مناطق می باشد.
هزینه ساخت هر مترمربع از فضای پایانه برابر با ۳۰۰۰۰۰۰۰ میلیون ریال در نظر گرفته می شود.
هزینه مجاورت کاربری های مجاز، مشروط و غیرمجاز به ترتیب برابر با ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ در نظر گرفته شده است.
فاصله ای که جهت منظور کردن محاسبه تابع هزینه مجاورت (Ca) استفاده شده است، مقدار ۳۰۰ متر است که غالباً به عنوان حداکثر فاصله قابل قبول پیاده روی در نظر گرفته می شود.
مقادیر محدودیت های a_1 ، a_2 و b در رابطه (۳) به ترتیب برابر با ۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ ریال، ۳۰۰۰ و ۲۵٪ در نظر گرفته می شود.
مقادیر پارامترهای e ، f ، g و h (رابطه های (۳) و (۴)) به ترتیب برابر با ۱، ۱، ۱۰۰ و ۱۰٪ در نظر گرفته می شوند.

با مشخص شدن ورودی های مسئله که شامل ماتریس های حاصل از مدل سازی شبکه خطوط اتوبوسرانی و شبکه معابر شهری و همچنین فرضیات مسئله است، اکنون می توان به حل مسئله مکان یابی پایانه های اتوبوسرانی درون شهری شهر شیراز پرداخت. برای این منظور، مسئله در محیط ویژوال بیسیک، کد نویسی شده است. پس از اجرای برنامه نوشته شده، ۱۶ نقطه به عنوان نقاط کاندید مشخص شد. پس از اعمال مدل از بین ۱۶ نقطه کاندید مشخص شده، سه نقطه به عنوان نقاط نهایی انتخاب شدند (جدول ۳).



جدول ۳- نقاط نهایی به منظور ساخت پایانه‌های اتوبوس‌رانی درون‌شهری در شهر شیراز.

Table 3- Final points for the construction of intercity bus terminals in Shiraz.

نقطه نهایی	موقعیت	مقدار تابع دسترسی (%)	مقدار تابع هزینه ساخت و تملک (هزار ریال)	مقدار تابع هزینه مجاورت
۱	انتهای بولوار امیرکبیر - جنب شهرک والفجر	۲۸	۴۲۰۰۰	۲۰۰۰
۲	بولوار بهشت - ابتدای بولوار میرزای شیرازی	۴۱	۷۶۰۰۰	۲۰۰۰
۴	تقاطع غیرهمسطح عدالت	۳۵	۵۶۰۰۰	۳۰۰۰

شایان‌ذکر است در نتیجه اعمال مدل، تنها یک نقطه بهینه حاصل گردید که همان بولوار بهشت - ابتدای بولوار میرزای شیرازی می‌باشد و سایر نقاط با توجه به بازه در نظر گرفته‌شده، انتخاب‌شده‌اند.

۶- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این بخش، بررسی درست آزمایی مدل، از طریق بررسی وضعیت نقاط نهایی انتخاب‌شده به‌عنوان یک نتیجه از این مقاله، ارائه می‌گردد؛ علاوه‌براین، محدودیت‌های مقابل این پژوهش در راستای انجام مطالعه موردی نیز بیان می‌شود. پس‌از آن، پیشنهادهایی در جهت توسعه بحث مکان‌یابی پایانه‌های اتوبوس‌رانی ارائه خواهد شد.

۶-۱- بررسی نتایج

به‌منظور بررسی عملکرد مدل در انتخاب نقاط نهایی، وضعیت این نقاط بررسی شد؛ در نتیجه، مشخص گردید نقاط مذکور از شرایط بسیار مناسبی برای احداث پایانه اتوبوس‌رانی درون‌شهری برخوردار هستند. نتیجه این ارزیابی که از نظر تعداد خطوط عبوری اتوبوس، دسترسی به سایر شیوه‌های حمل‌ونقلی (مانند قطار شهری، پایانه اتوبوس‌های برون‌شهری و شریان‌های مهم شهری) و مناطقی که به کمک خطوط اتوبوس‌رانی فعلی می‌توانند تحت پوشش خدمات اتوبوس‌رانی قرار گیرند، در جدول ۴ ارائه‌شده است.

جدول ۴- ارزیابی نقاط نهایی انتخاب‌شده در شهر شیراز جهت احداث پایانه اتوبوس‌رانی درون‌شهری.

Table 4- Evaluation of the final points selected in Shiraz for the construction of the city bus terminal.

تعداد خطوط عبوری	بولوار بهشت	تقاطع غیر هم‌سطح عدالت	ابتدای ورودی شهرک والفجر
۱۷	۷	۴	
دسترسی به سایر شیوه‌های حمل‌ونقلی	دسترسی به قطار شهری و شریان‌های مهم شهر	دسترسی به پایانه مسافربری امیرکبیر و شریان‌های مهم شهر	
مناطق تحت پوشش	مرکزی و غربی	شمالی، مرکزی، جنوبی و شرقی	مرکزی، جنوبی و غربی

۶-۲- محدودیت‌ها

- کمبود و نقص در اطلاعات پایه‌ای: به دلیل عدم وجود اطلاعات دقیق در مورد کاربری‌های مختلف شهری، در برخی از بخش‌های این مقاله، به‌ناچار از فرضیاتی استفاده شده است. قابل ذکر است که سعی بر آن بوده است تا حتی‌الامکان، این فرضیات به واقعیت نزدیک باشند.

- عدم وجود اطلاعات به‌روز شده: برخی از اطلاعاتی که در رابطه با خدمات اتوبوس‌رانی و شبکه معابر، مورد نیاز این پایان‌نامه بوده است، به‌روز نبودند و یا اینکه به‌صورت متمرکز و از قبل، در نقشه‌های کد یا GIS وجود نداشتند.



- پیشنهاد می‌شود محدودیت‌های دیگری همچون محدوده طرح ترافیک نیز در مسئله مکان‌یابی پایانه‌های اتوبوس‌رانی درون‌شهری، لحاظ گردد. در نتیجه اعمال این محدودیت، می‌توان مسئله را به مکان‌یابی پارک‌سوار تبدیل نمود.
- پیشنهاد می‌شود مسئله اصلاح شبکه خطوط نیز به همراه مسئله مکان‌یابی پایانه‌های اتوبوس‌رانی درون‌شهری، حل شود؛ چراکه غالباً تأسیس یک پایانه در یک محل، سبب تغییراتی در شبکه خطوط شامل تغییر مسیر خطوط موجود و راه‌اندازی خطوط جدید نیز می‌گردد.
- پیشنهاد می‌شود در مکان‌یابی و ساخت پایانه‌ها، نگاهی طولانی‌مدت و فراتر از خدمات اتوبوس‌رانی محض وجود داشته باشد؛ به عبارت دیگر، اگر هدف جابجایی روان و گسترده مسافران در تمام سطح شهر، مدنظر باشد، یکپارچگی بسیار مؤثری بین شیوه‌های حمل‌ونقلی شهری به وجود می‌آید؛ بنابراین، پایانه‌هایی که با این دیدگاه، مکان‌یابی می‌شوند، به دلیل ارتباط بیشتر با سیستم‌های مختلف شهری و حمل‌ونقلی، کارایی به مراتب بیشتری خواهند داشت. همچنین پس از احداث یک پایانه، دیگر شیوه‌های حمل‌ونقلی مانند پایانه‌های تاکسی‌رانی، پارکینگ‌ها، مسیرهای دوچرخه، پیاده‌راه‌ها و غیره، با توجه به آن پایانه و در ارتباط با آن، طراحی و اجرا می‌شوند.

منابع

- Aashtiani, H., & Hejazi, B. (2001). Solving bus terminal location problem using simulated annealing method. *JCME*, 20(2), 125-140. (In Persian). URL: <http://jcme.iut.ac.ir/article-1-232-fa.html>
- Afandi Zade, Sh., Marouf, N., & Kalantari, N. (2011). Presenting a hybrid meta-heuristic algorithm to solve the simultaneous optimization model of bus network design and terminal location. *Sixth national congress of civil engineering*, Semnan, (p. 1-8).
- Bischoff, M., & Daechert, K. (2009). Allocation search methods for a generalized class of location-allocation problems. *European journal of operational research*, 192(3), 793-807.
- Gelareh, Sh., Correia, I., Nickel, S., & Saldanha-da-Gama, F. (2012). Multi-period hub location problems in transportation networks. *Working paper*, 9, 1-37.
- Laporte, G., Marin, A., Mesa, J. A., & Perea, F. (2011). Designing robust rapid transit networks with alternative routes. *Journal of advanced transportation*, 45(1), 54-65.
- Rieck, J., & Zimmermann, J. (2009). A hybrid algorithm for vehicle routing of less-than-truckload carriers. *Metaheuristics in the service industry*, 2, 155-171.
- Seyed-Hosseini, S., Heydari, R., & Heydari, T. (2009). Solving urban bus terminal location problem using genetic algorithm. *IJIEPM*, 20(3), 75-86. (In Persian). URL: <http://ijiepm.iust.ac.ir/article-1-156-fa.html>



Licensee **Innovation Management and Operational Strategies**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).